MANUEL D'INSTRUCTIONS

PIÉZOMÈTRE À CORDE VIBRANTE

Série PW

© Roctest Limitée, 2012. Tous droits réservés.

L'installation et l'utilisation de ce produit peuvent parfois s'avérer dangereuses ; elles doivent être faites uniquement par du personnel qualifié. Les instructions contenues dans ce manuel sont fournies à titre indicatif seulement et sont sous réserve de modifications sans préavis. La Société n'assume aucune responsabilité quant aux dommages qui pourraient résulter de l'installation et de l'utilisation de ce produit.

Tél. : 1.450.465.1113 • 1.877.ROCTEST (Canada, États-Unis) • 33.1.64.06.40.80 (France) • 41.91.610.1800 (Suisse)

www.roctest-group.com

F1100D-120910

TABLE DES MATIÈRES

1 APPLICATIONS 1

2 PRODUIT 1

2.1 Description générale 1

2.2 Descriptions détaillées et utilisations 1

2.2.1 Modèles PWS et PWC 2

2.2.2 Modèle PWF 2

2.2.3 Modèle PWP 2

2.2.4 Modèle PWL 3

2.2.5 Chaîne multi-piézomètres 3

2.2.6 Types de filtre 4

2.3 Principe d'opération 5

2.4 Étalonnage 6

3 PROCÉDURE D'INSTALLATION 6

3.1 Lecture de vérification avant l'installation 6

3.2 Installation du filtre 7

3.2.1 Filtre en acier inox à faible pression d'entrée d'air 7

3.2.2 Filtre en céramique à haute pression d'entrée d'air 7

3.3 Lecture initiale 8

3.4 Vérification de l'étalonnage sur chantier (optionnelle) 10

3.5 Installation du capteur 10

3.5.1 Installation en remblai 10

3.5.2 Installation en forage 11

3.5.3 Piézomètre foncé dans un sol meuble 13

3.5.4 Installation d'une chaîne multi-piézomètres 14

3.6 Lecture de référence 15

3.7 Installation des câbles 15

3.7.1 Identification des câbles 15

3.7.2 Généralités sur le cheminement des câbles 15

3.7.3 Cheminement horizontal des câbles 16

3.7.4 Cheminement vertical des câbles 17

3.8 Épissures 19

3.9 Connection des câbles 19

3.10 Protection contre la foudre 20

4 PROCÉDURE DE LECTURE 20

4.1 Généralités 20

4.2 Prise de lectures 20
4.3 Vérification rapide des lectures 21
5 CONVERSION DES LECTURES 22
5.1 Valeur de pression 22
5.2 Valeur de temperature 23
5.3 Corrections de température et de pression barométrique 24
6 DÉTECTION DE PANNES 24
6.1 Lecture instable 25
6.2 Aucune lecture 25
6.3 Problème lié à la température 26
6.4 Autres problèmes 26
7 DIVERS 26
7.1 Facteurs environnementaux 26
7.2 Facteurs de conversion 27

1 APPLICATIONS

Le piézomètre à corde vibrante PW est conçu pour mesurer la pression interstitielle de l'eau ou celle de tout autre fluide. Il est utilisé essentiellement pour l'auscultation de grands ouvrages tels que les barrages, les fondations, les tunnels, les excavations etc.

La technologie de la corde vibrante utilisée par le piézomètre PW lui confère robustesse, fiabilité et stabilité dans le temps : des qualités indispensables pour ses applications.

2 PRODUIT

2.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le piézomètre PW est constitué d'un corps cylindrique rigide contenant la partie sensible du capteur. Celle-ci consiste en un diaphragme de faible épaisseur sur lequel est fixée une fine corde d'acier. Toutes les composantes du capteur à part la corde elle-même sont usinées à partir d'acier inoxydable de grande qualité, sélectionné pour sa souplesse et sa grande résistance à la corrosion.

Une thermistance montée dans le corps du capteur permet de mesurer la température. Le piézomètre PW est aussi muni d'un protecteur de surtension électrique (éclateur à gaz) et résiste à des interférences électriques et radio telles que décrites dans les spécifications des normes IEEE et CEI.

L'intérieur du capteur est protégé contre l'infiltration d'eau par un connecteur étanche, des joints toriques et un remplissage par un composé à base de résine époxy.

2.2 DESCRIPTIONS DÉTAILLÉES ET UTILISATIONS

Bien que le principe des piézomètres PW soit le même pour tous, il existe des différences importantes dans leurs conceptions pour qu'ils s'adaptent au mieux à leurs utilisations spécifiques.

Également, dans ce manuel, à la section 2.2.5, vous retrouverez la chaîne multi-piézomètres à corde vibrante, qui a été conçue pour les applications qui requièrent des mesures de la pression interstitielle à différentes profondeurs dans les sols, et ce, pour une même localisation. Ce sont nos capteurs de pression à corde vibrante, déjà offerts au travers de notre modèle PWS, qui sont greffés sur cette chaîne multi-piézomètres. Pour de plus amples informations sur les caractéristiques de la chaîne multi-piézomètres, veuillez-vous référer à la fiche technique que vous retrouverez sur notre site Internet.

2.2.1 MODÈLES PWS ET PWC

Le piézomètre PWS est conçu pour être enfoui dans le sol ou le béton, ou bien pour être utilisé dans des forages ou des tubes d'un diamètre aussi petit que 19 mm (¾").

Il consiste en un petit corps cylindrique contenant le capteur de pression et une thermistance. La sortie du câble est protégée par un presse-étoupe et un scellement à la résine époxy.

Un filtre muni d'un joint torique peut être fixé au piézomètre. Le diaphragme est ainsi protégé des particules de sol et ne subit que la pression hydraulique du fluide environnant. Le filtre peut s'enlever facilement pour effectuer l'étalonnage du capteur ou pour simplement être saturé. Il peut être aussi remplacé par un raccord fileté pour que le piézomètre soit utilisé comme capteur de pression industriel (modèle PWC).

Figure 1: Piézomètre modèle PWS

2.2.2 MODÈLE PWF

Le piézomètre PWF est une version à paroi épaisse du piézomètre PWS, pour une utilisation dans les remblais compactés. Tout comme pour le modèle PWS, un raccord fileté ou un filtre peut y être fixé.

2.2.3 MODÈLE PWP

Le piézomètre PWP est conçu pour être directement foncé dans un sol non consolidé comme du sable, du limon ou de l'argile.

Le corps extérieur est un cylindre à paroi épaisse équipé d'une pointe conique et d'un filetage permettant l'utilisation de tiges de forage (standard EW) lors du fonçage. Quatre filtres en acier inoxydable sont logés dans les trous au-dessus de la pointe. Le câble électrique passe au milieu du raccord fileté et des tiges (le cas échéant) jusqu'à la surface. Comme les autres modèles de piézomètres, un presse-étoupe et un scellement à la résine époxy protège l'intérieur du capteur de toute pénétration d'eau.

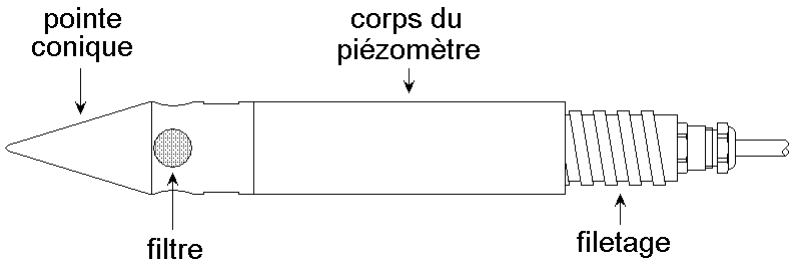


Figure 2: Piézomètre modèle PWP

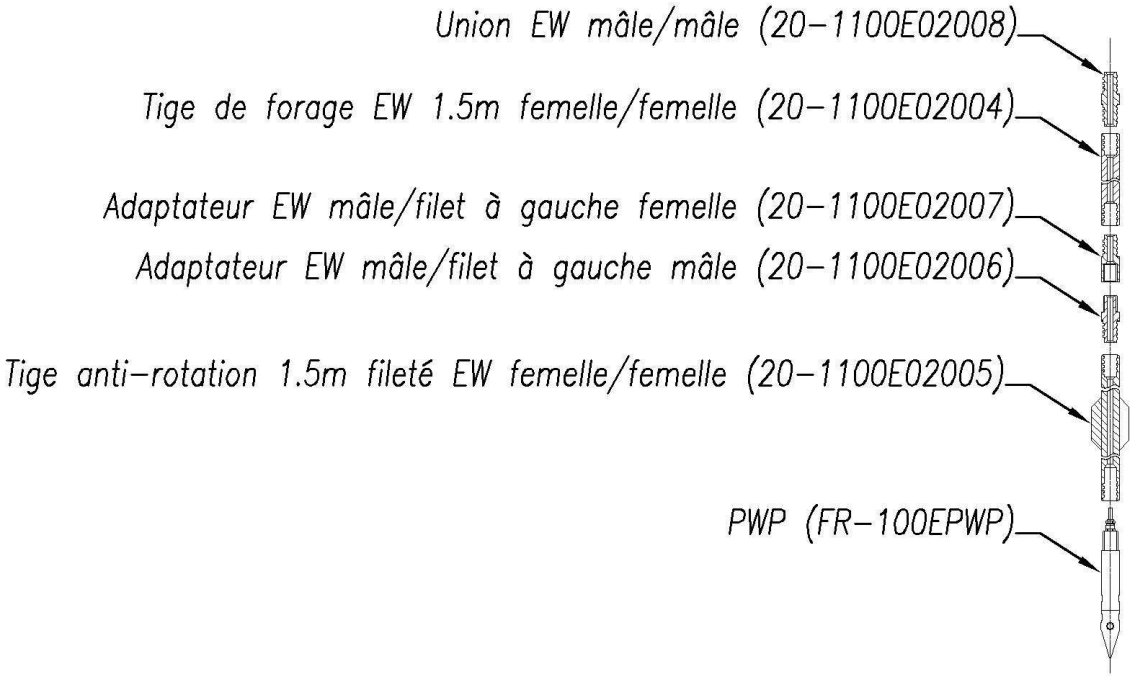

Union EW mâle/mâle (20-1100E02008)
Tige de forage EW 1.5m femelle/femelle (20-1100E02004)
Adaptateur EW mâle/filet à gauche femelle (20-1100E02007)
Adaptateur EW mâle/filet à gauche mâle (20-1100E02006)
Tige anti-rotation 1.5m fileté EW femelle/femelle (20-1100E02005)
PWP (FR-100EPWP)

Figure 2A: Piézomètre modèle PWP avec option de récupération du train de tiges

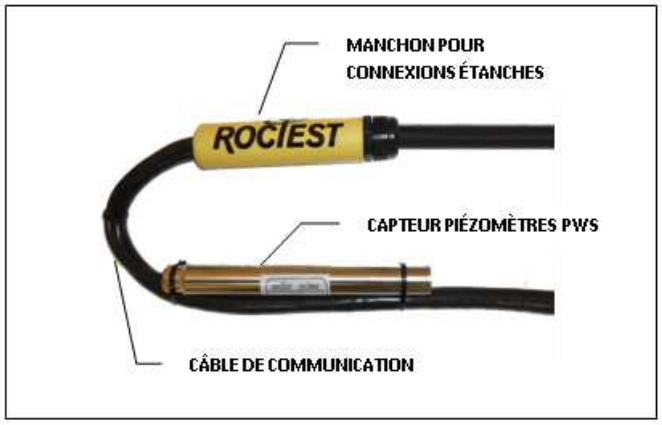
2.2.4 MODÈLE PWL

Le piézomètre PWL est un capteur à faible étendue de mesure. Tout comme pour le modèle PWS, un raccord fileté ou un filtre peut y être fixé.

2.2.5 CHAÎNE MULTI-PIÉZOMÈTRES

Parmi les avantages que comporte l'utilisation d'une chaîne multi-piézomètres, on retrouve la réduction du temps, des ressources et des coûts d'installation, tout en

bénéficiant d'une mesure précise et rapide à différentes élévations.



De plus, la chaîne multi-piézomètres à corde vibrante permet à l'utilisateur de définir la distance entre chacun des capteurs installés le long du câble, permettant ainsi d'obtenir un contrôle précis de la profondeur, et ce, selon les exigences spécifiques au site d'installation. Chacune des connexions entre les piézomètres et le câble principal sont scellées avec une résine époxy de façon étanche et durable. Vous retrouverez les particularités d'une installation typique à la section 3.5.4 de ce manuel.

2.2.6 TYPES DE FILTRE

Deux types de filtre sont disponibles : l'un à haute pression d'entrée d'air (en céramique) et l'autre à basse pression d'entrée d'air (en acier fritté inoxydable).

Le tableau ci-dessous résume les principales différences entre les deux types.

Filtre en acier inox *basse pression d'entrée d'air* *diamètre des pores : ~50 µm*	***Filtre en céramique*** *haute pression d'entrée d'air* *diamètre des pores : ~1 µm*
Filtre le plus courant.	Filtre utilisé généralement dans les sols insaturés à faible granulométrie.
Ne permet pas de mesures en succion. Si le niveau d'eau descend sous celui du piézomètre, le filtre peut se désaturer. Mais dès que le niveau de l'eau remonte, le filtre se sature à nouveau sans difficulté.	Permet des mesures de succion jusqu'à -100 kPa. Si la pression négative devient plus importante, le filtre se désature et les lectures deviennent incorrectes.
Pression d'entrée d'air : ~10 kPa	Pression d'entrée d'air : ~450 kPa
Temps de réaction court.	Temps de réaction plus important.
Facile à saturer et à installer.	A besoin d'être saturé sous vide.
Autorise l'infiltration d'éléments fins.	Aide à empêcher l'infiltration d'éléments fins.

Tableau 1: Différences entre les types de filtre

La saturation du filtre est nécessaire pour assurer la continuité hydraulique entre le diaphragme du piézomètre et l'eau interstitielle dans les sols insaturés. Un filtre bien saturé a moins de chances de se boucher et diminue le temps de réaction du piézomètre.

2.3 PRINCIPE D'OPÉRATION

L'élément sensible du capteur est une fine corde d'acier attachée à un diaphragme. Celui-ci est en contact avec le fluide environnant et une variation de pression le déforme modifiant ainsi la tension de la corde. Cette tension est directement proportionnelle au carré de la fréquence de résonnance de la corde.

Lors de la lecture, une tension électrique appliquée à une bobine et à un électroaimant près de la corde excite celle-ci dans une gamme de fréquences, en passant par la fréquence de résonnance. La corde vibre alors et induit une tension dans l'électroaimant. Le signal est alors amplifié et épuré des fréquences harmoniques afin de ne refléter que la fréquence de résonnance de la corde.

La relation entre la période N et la déformation ε de la corde est la suivante :

$$\varepsilon = K \cdot \frac{10^9}{N^2}$$

où ε = déformation en microdéformations

N = période de la vibration en microsecondes

K = constante de jauge, spécifique pour chaque type de jauge

La technologie de la corde vibrante offre l'avantage unique d'un signal de sortie en fréquence, non affecté par l'impédance du câble ou par des résistances de contact. Des câbles longs de plusieurs kilomètres peuvent donc être utilisés sans aucune détérioration du signal.

Un poste de lecture portable comme le MB-3TL (ou MB-6T(L)) peut être utilisé avec les capteurs à corde vibrante. Il effectue toutes les opérations nécessaires : excitation de la corde, conditionnement du signal et affichage des lectures. Contacter Roctest – Télémac pour de plus amples informations.

2.4 ÉTALONNAGE

Une feuille d'étalonnage est fournie avec chaque capteur. Elle permet la conversion des lectures brutes en mesures de pression et la correction des effets de la température.

Tous les capteurs sont étalonnés individuellement sur l'ensemble de leur étendue de mesure avant leur expédition. Les facteurs d'étalonnage et le coefficient thermique sont calculés grâce à une régression linéaire ou polynomiale.

Pendant la procédure d'étalonnage, les capteurs sont cyclés mécaniquement et testés à 40 degrés Celsius.

3 PROCÉDURE D'INSTALLATION

3.1 LECTURE DE VÉRIFICATION AVANT L'INSTALLATION

Une lecture de tous les capteurs doit être prise dès la réception des piézomètres sur chantier pour s'assurer qu'ils n'ont été endommagés ni pendant le transport ni lors de leur manutention.

Prendre une lecture en unités linéaires avec le piézomètre à l'air, sans filtre et dans la même position que dans laquelle il doit être installé. Vérifier alors cette lecture avec celle figurant sur la feuille d'étalonnage. Leur écart ne devrait pas dépasser vingt unités linéaires. Celui-ci peut provenir de chocs ou de vibrations pendant le transport et/ou par

le fait que la température et la pression barométrique sur chantier sont certainement différentes de celles à l'usine, lors de l'étalonnage. Cet écart n'a cependant aucune conséquence sur la linéarité du capteur.

Prendre aussi une lecture de la température pour s'assurer que la thermistance fonctionne normalement.

Pour des détails concernant la prise de lectures ou comment convertir des fréquences en unités linéaires, se référer au chapitre 4 page 20 (Procédure de lecture).

3.2 INSTALLATION DU FILTRE

3.2.1 FILTRE EN ACIER INOX À FAIBLE PRESSION D'ENTRÉE D'AIR

Le filtre est livré déjà monté sur le piézomètre. Pour le retirer, tenir ce dernier d'une main et tirer sur le filtre avec l'autre main tout en le faisant tourner.

Note : Le filtre d'un piézomètre PWP se retire en dévissant la pointe conique.

Immerger le filtre et le piézomètre avec le diaphragme vers le haut dans de l'eau claire pendant quinze minutes environ. De l'eau désaérée peut être utilisée (l'air peut être retiré de l'eau en la faisant bouillir quelques minutes ou en faisant le vide). Tapoter le piézomètre pour décrocher les éventuelles bulles d'air.

Assembler de nouveau le filtre au piézomètre, en maintenant les pièces sous l'eau. Pour les piézomètres à faible étendue de mesure, prendre des lectures pendant l'opération et vérifier que les variations de pression induites par l'installation du filtre restent dans l'étendue de mesure du capteur.

A partir du moment où le filtre est saturé, il doit rester sous l'eau jusqu'à l'installation du piézomètre.

3.2.2 FILTRE EN CÉRAMIQUE À HAUTE PRESSION D'ENTRÉE D'AIR

Le filtre en céramique est livré saturé dans un boîtier métallique. Son installation doit être effectuée sous l'eau pour éviter toute pénétration d'air.

- Connecter le piézomètre à un poste de lecture.
- Renverser le piézomètre dans un récipient d'eau claire. Le diaphragme doit pointer vers le haut et rester immergé.
- En gardant le piézomètre immergé, le maintenir fermement à deux mains et pousser le filtre dans son logement. Utiliser les pouces pour appuyer progressivement sur le filtre jusqu'à ce qu'il soit totalement inséré. Cette étape peut prendre du temps.

  La résistance rencontrée est normale et due à la faible porosité du filtre en

céramique. Pendant que le filtre est poussé dans son logement, vérifier les lectures sur le poste et éviter des variations de pression excessives qui pourraient endommager le capteur. Se référer à la feuille d'étalonnage pour l'étendue de mesure du capteur.

- L'installation du filtre est maintenant terminée.

- Laisser le piézomètre sous l'eau pendant 24 heures au moins avant de l'installer sur le chantier. La pression créée par l'installation du filtre peut ainsi s'évacuer. Le piézomètre est prêt à être installé lorsque sa lecture donne une valeur proche de celle obtenue lors de la vérification du bon fonctionnement (avec le filtre enlevé) (se référer au paragraphe sur la lecture initiale ci-dessous pour plus de détails).

3.3 LECTURE INITIALE

Avant d'installer le piézomètre à son emplacement définitif, une lecture initiale doit être prise afin de convertir correctement par la suite les lectures en unités linéaires en mesures de pression. Cette étape est aussi nécessaire pour pouvoir corriger plus tard les effets des variations de la température et de la pression atmosphérique.

Laisser le capteur dans l'eau deux à trois heures afin d'obtenir l'équilibre thermique. Il est préférable d'attendre toute une nuit, pourvu que la température de l'eau soit plus ou moins constante. Tout changement brusque de température et toute exposition au soleil doivent être évités.

Une fois que la température ambiante, celle de l'eau et celle du capteur sont en équilibre, soulever le piézomètre par son câble et n'en laisser que deux centimètres dans l'eau. Prendre trois lectures de suite pour s'assurer que la valeur est bien stable et la noter. Cette valeur est la lecture initiale (appelée L_0). Noter aussi la température ambiante (T_0) et la pression barométrique (S_0).

Comparer les lectures en unités linéaires avant et après l'installation du filtre. Elles doivent être proches. La petite différence sur les lectures brutes provient du fait que la température et la pression barométrique ont peut-être changé entretemps. Une différence de plus de dix unités linaires peut indiquer que le filtre n'est pas bien saturé ou que la pression due à son installation ne s'est pas encore totalement dissipée.

Pour des détails concernant la prise de lecture ou comment convertir des fréquences en unités linéaires, se référer au chapitre 4 page 20 (Procédure de lecture).

Un calcul spécial doit être effectué si la relation polynomiale est utilisée pour convertir les lectures brutes en mesures de pression. Le coefficient C' de la feuille d'étalonnage doit être calculé car il dépend de la température et de la pression barométrique sur chantier, qui sont différentes de celles à l'usine. Utiliser la relation suivante :

$$C' = -AL_0^2 - BL_0$$

où : C' = nouveau facteur d'étalonnage en kilopascal

A, B = facteurs d'étalonnage (voir la feuille d'étalonnage)

L_0 = lecture initiale en unités linéaires

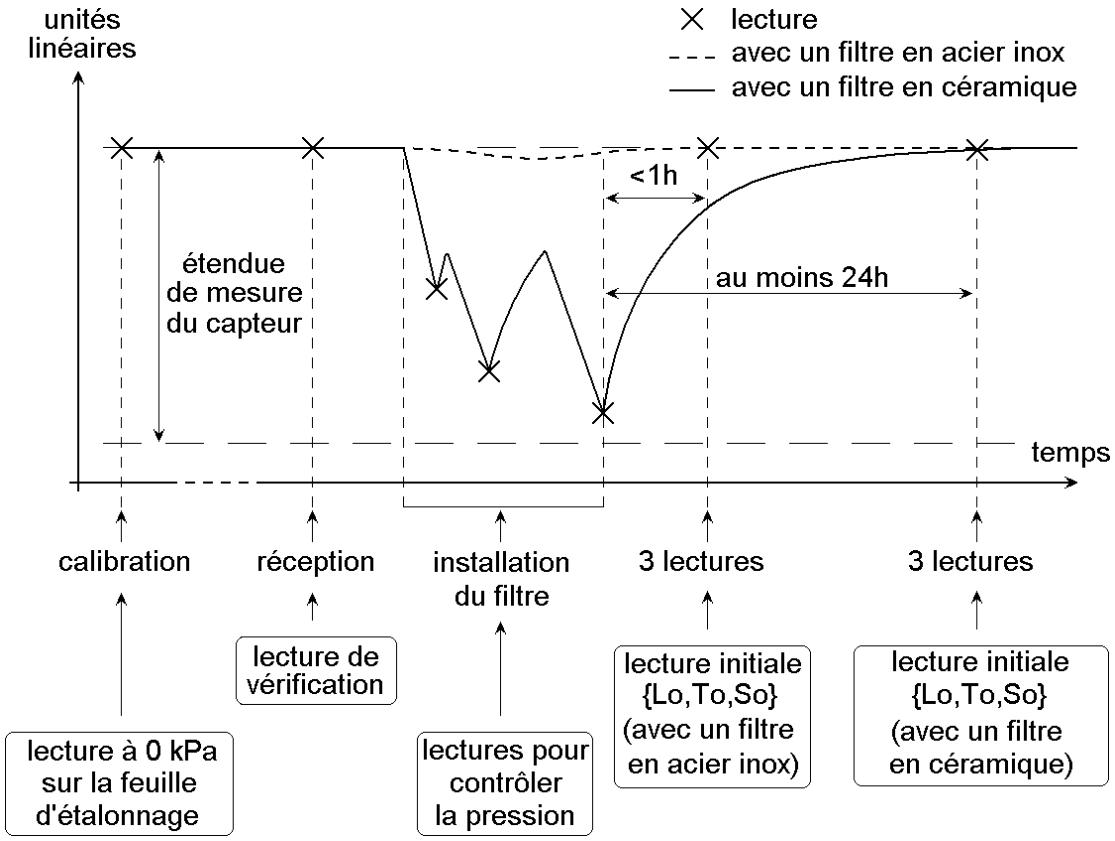


Figure 3: Résumé des différentes lectures

Note: Il n'est pas nécessaire à ce stade d'appliquer des corrections au calcul de la pression, mais il est important de noter la température et la pression barométrique.

3.4 VÉRIFICATION DE L'ÉTALONNAGE SUR CHANTIER (OPTIONNELLE)

Les piézomètres sont étalonnés en usine grâce à des instruments ayant une précision d'au moins quatre fois celle des capteurs. Cependant, une vérification de l'étalonnage peut être aussi menée sur chantier.

La meilleure méthode pour procéder à la vérification est de prendre des lectures d'un piézomètre plongé dans un tube rempli d'eau à température uniforme. Les variables difficilement contrôlables, inconnues dans un forage comme le gradient de température, le débit ou les variations de densité et qui ne sont pas présentes lors de l'étalonnage en usine sont ainsi éliminées. Le tube doit être protégé. Un forage ou un bâtiment par exemple peut l'abriter.

La vérification consiste à comparer entre elles les lectures obtenues avec différentes hauteurs d'eau dans le tube d'étalonnage. La pression barométrique doit aussi être notée avec les lectures du piézomètre.

Remarquer que l'introduction d'un instrument dans un tube piézométrique fait monter le niveau de l'eau à cause du volume de l'équipement introduit (le piézomètre et son câble). L'effet est d'autant plus grand que le diamètre du tube est petit et que le câble est long. Laisser le niveau de l'eau s'équilibrer avant de prendre des lectures.

3.5 INSTALLATION DU CAPTEUR

Les méthodes d'installation des piézomètres sont nombreuses, car elles doivent s'adapter à chaque cas particulier. Des indications précises ont été données par plusieurs organismes et spécialistes. Les méthodes habituelles sont expliquées ci-dessous.

3.5.1 INSTALLATION EN REMBLAI

3.5.1.1 ARGILE COMPACTÉE

Réaliser une tranchée ou une niche d'environ 30 cm de profondeur. Faire un trou cylindrique dans l'une des parois. Le diamètre du trou doit être légèrement inférieur à celui du piézomètre.

Afin de s'assurer que son filtre est bien en contact avec le matériau en place et qu'il y ait une bonne continuité hydraulique, appliquer sur celui-ci une fine couche de matériau saturé. Foncer le piézomètre dans le trou.

Avant de remblayer la tranchée ou la niche, le câble doit être disposé avec soin : faire une boucle et protéger le câble par une épaisseur d'argile sans éléments grossiers et compactée à la main.

S'assurer que les différents câbles ne s'entrecroisent pas et les garder séparés.

Remblayer la tranchée ou la niche avec le matériau qui en a été extrait mais ne contenant aucun élément d'un diamètre supérieur à 2.5 mm. Le matériau doit avoir une densité et une teneur en eau équivalente à celle du terrain avoisinant.

S'assurer que le câble ne souffrira ni d'aspérités dans le sol, ni de l'équipement de compactage, ni de déformations importantes induites par la mise en place du remblai.

3.5.1.2 MATÉRIAUX GRANULAIRES

Installer le piézomètre dans une tranchée comme décrit au paragraphe précédent : placer le capteur dans la tranchée, faire une boucle avec le câble et remblayer avec un matériau ayant une densité et une teneur en eau équivalente à celle du terrain avoisinant.

Dans les remblais en roche, il est nécessaire de placer un filtre autour du piézomètre. Utiliser pour commencer un sable propre et fin, et augmenter la granulométrie progressivement. Le diamètre des grains de sable au contact avec le capteur et le câble doit être compris entre 0.5 et 2.5 mm.

3.5.2 INSTALLATION EN FORAGE

La méthode choisie pour installer un piézomètre dans un forage dépend du contexte de

l'installation. Des conditions artésiennes, la stabilité d'un forage, l'équipement de forage disponible, le type de matériau de scellement sont autant de facteurs déterminants pour choisir une méthode plutôt qu'une autre. Celle décrite ci-dessous couvre la plupart des applications.

Le forage doit être réalisé sans aucune boue. Par conséquent, l'utilisation d'un tubage est parfois nécessaire.

1. Descendre le tubage trente centimètres sous la position prévue du piézomètre. Pour éviter qu'il ne se bouche, laver le forage jusqu'à ce que l'eau qui en sort soit devenue claire.

2. Monter le tubage de quinze centimètres et verser du sable dans le forage sur la même hauteur. Répéter une fois cette opération puis descendre le piézomètre jusqu'au sable. Vérifier la profondeur du forage après chaque étape.

3. Maintenir l'instrument en place et répéter l'étape 2 jusqu'à ce que trente centimètres de sable le recouvre.

4. Monter le tubage de quinze centimètres et verser lentement de la bentonite sur la même hauteur. Répéter l'opération jusqu'à ce qu'un bouchon d'au moins 1.2 m soit réalisé. Pendant la constitution du bouchon, tenir le câble de l'instrument tendu pour éviter que la bentonite n'y adhère : il faut éviter la formation d'un bouchon dans le tubage. Une brosse peut être utilisée pour débloquer un forage.

5. Attendre que la bentonite se mette en place. Généralement, deux heures sont suffisantes. Se référer aux instructions du fabricant pour de plus amples détails. Maintenir le forage rempli d'eau. L'objectif est d'empêcher que la bentonite ne soutire de l'eau au sol avoisinant.

6. Si un seul piézomètre doit être installé dans le forage, remplir ce dernier avec un coulis de bentonite/ciment.

   Si plus d'un piézomètre doit être installé, remplir le forage avec un coulis de bentonite/ciment jusqu'à un mètre et demi en-dessous du second piézomètre. Utiliser ensuite 1.2 m de bentonite comme à l'étape 4 et répéter les opérations 1 à 5 pour le second piézomètre. Lorsque tous les instruments sont placés, remplir le forage d'un coulis de bentonite/ciment.

7. Retirer le tubage sans rotation. Utiliser du coulis pour la finition de la bouche du forage.

Si le piézomètre le plus profond doit mesurer les pressions interstitielles dans un horizon bien précis, il est nécessaire de descendre le tubage de 1.2 m sous le niveau de l'instrument afin de réaliser un bouchon de bentonite au fond du forage. Retirer le tubage au fur et à mesure que la bentonite est mise en place, par étapes de quinze centimètres chacune. S'assurer que la bentonite n'adhère pas aux parois du tubage en la versant lentement et en maintenant le tubage toujours au-dessus du bouchon de fond. La mise en place trop rapide de la bentonite entraîne souvent un blocage en amont dans le tubage. Il n'est pas nécessaire de compacter le bouchon de fond. Avant de verser du sable, descendre un poids pour s'assurer que toute la hauteur du tubage est libre

d'accès. Au besoin, laver le forage jusqu'à ce que l'eau qui en sort soit devenue claire.

Note : Il est aussi possible de placer le piézomètre dans un sac en toile rempli de sable. Le sac fera alors office de filtre.

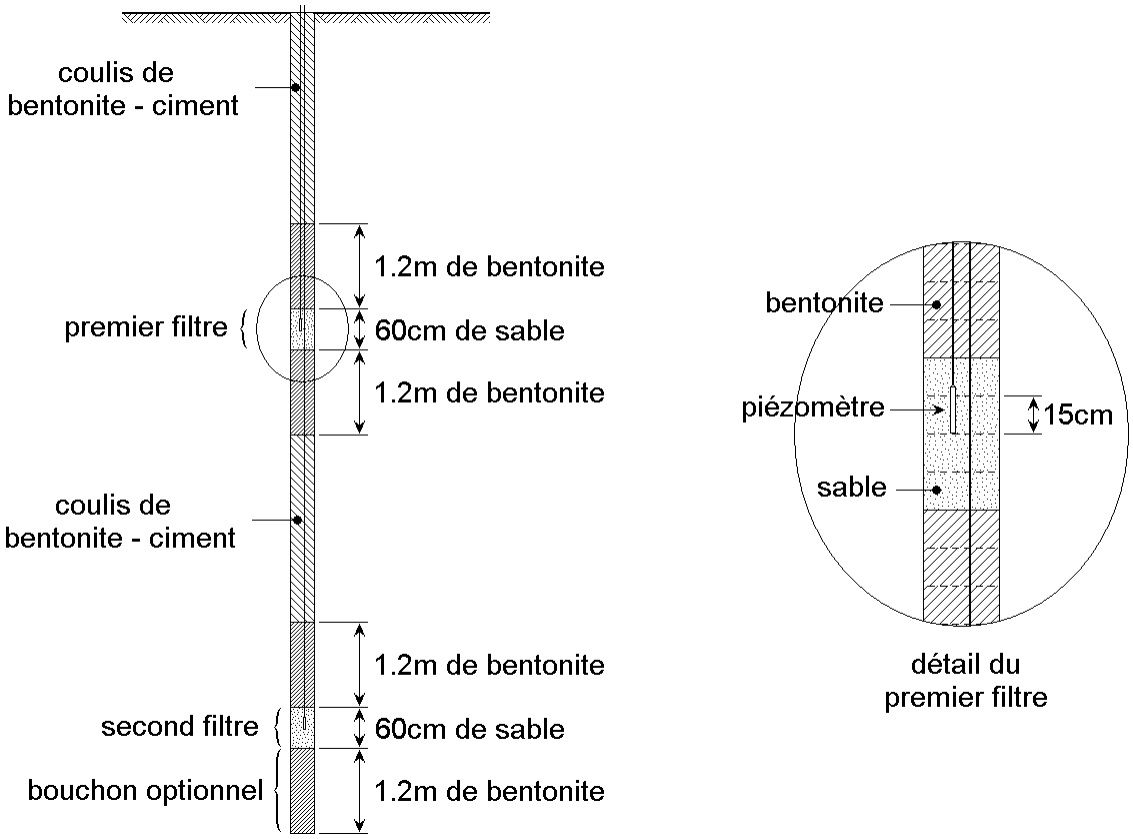


Figure 4: Installation typique de piézomètres dans un forage

Noter qu'une méthode pour installer des piézomètres en forage consiste à remplir entièrement le forage de coulis de ciment après avoir descendu les instruments. Bien que cette façon de faire soit prometteuse, il est difficile d'en juger les avantages et les inconvénients par manque de retour d'informations suite à de telles installations.

3.5.3 PIÉZOMÈTRE FONCÉ DANS UN SOL MEUBLE

Le piézomètre modèle PWP est conçu pour être foncé dans un sol meuble à partir de la surface. Pour les installations profondes, il est aussi possible de le foncer à partir du fond d'un forage.

Ce piézomètre est muni d'un raccord mâle EW sur lequel s'adaptent directement des tiges de même type.

Les tiges doivent former un scellement efficace au-dessus du piézomètre. Dans le cas où d'autres tiges doivent être ajoutées pour foncer l'instrument, il est important que les premiers mètres de tiges aient un diamètre au moins égal à celui du piézomètre.

La première étape de l'installation consiste à disposer un nombre suffisant de tiges côte à côte, en alternant les raccords mâles et femelles.

Le câble du piézomètre est alors passé à travers les tiges. Laisser cinquante centimètres de câble entre chaque tige et environ sept mètres avant la première (celle destinée à être descendue en premier) afin de faciliter la manipulation de l'ensemble par la suite. Connecter le câble au poste de lecture.

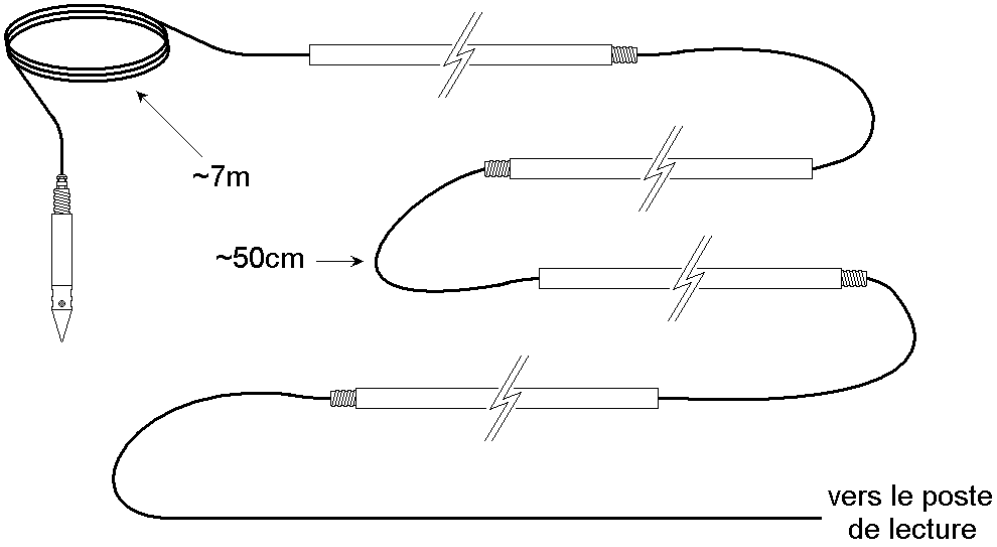


Figure 5: Préparation avant l'installation d'un PWP

Visser la première tige au piézomètre. Utiliser un scellant à tuyaux sur les filets pour assurer une bonne étanchéité. Ceci est nécessaire pour empêcher l'eau du terrain de s'infiltrer dans les tiges par les raccords ce qui diminuerait artificiellement la pression interstitielle du sol.

Foncer le piézomètre et prendre régulièrement des lectures. Si la pression mesurée monte au-delà de l'étendue de mesure du capteur, arrêter le fonçage et attendre que la pression se dissipe.

Il est nécessaire dans les terrains à haute salinité d'utiliser une bague en nylon entre le piézomètre et les tiges afin d'éviter que la pression interstitielle augmente à cause de l'équipement introduit. En effet, si une réaction galvanique entre le capteur et les tiges se produisait, elle dégagerait de l'hydrogène, provoquant ainsi une augmentation de la pression interstitielle.

3.5.4 INSTALLATION D'UNE CHAÎNE MULTI-PIÉZOMÈTRES

L'installation d'une chaîne multi-piézomètres est rapide et fiable grâce à la multiplicité des capteurs pouvant être greffés sur un seul et même câble de communication, qui est

ensuite connecté sur un poste de lecture MB-3TL (ou MB6-T(L)) ou un système d'acquisition de données (SENSLOG).

Pour une installation typique avec ce nouveau produit à capteurs multiples, il suffit de déployer en parallèle, dans un forage, la chaîne multi-piézomètres ainsi qu'un tuyau d'injection de mortier afin de remplir le forage jusqu'à la surface du sol. Une fois que le mortier a durci, les piézomètres sont alors isolés les uns par rapport aux autres, tout en permettant une mesure très réactive aux changements de pression interstitielle pour une profondeur donnée.

3.6 LECTURE DE RÉFÉRENCE

A cause des remaniements effectués lors de l'installation des piézomètres, la pression interstitielle dans le sol peut prendre un certain temps avant de retrouver son état naturel. Cette période peut durer de quelques heures à quelques semaines, dépendamment de la perméabilité du sol.

Après l'installation, prendre régulièrement des lectures pour déterminer quelle est la lecture de référence. Celle-ci est obtenue lorsque les lectures deviennent stables sur plusieurs jours.

3.7 INSTALLATION DES CÂBLES

3.7.1 IDENTIFICATION DES CÂBLES

Le signal en provenance du capteur est transmis par un câble électrique fourni généralement en un rouleau.

Chaque câble est identifié par le numéro de série du capteur auquel il est relié. Une étiquette est attachée à l'extrémité libre du câble, où la lecture est prise.

Il est nécessaire de bien identifier les câbles pour leur connections et la lecture des instruments.

Si le câble doit être coupé ou si son extrémité libre est inaccessible, s'assurer qu'il peut toujours être identifié (par exemple en écrivant au marqueur le numéro de série du capteur ou en utilisant un code de couleur). Si le câble est exposé et a de grandes chances d'être coupé, l'identifier par des étiquettes métalliques à intervalle régulier sur toute sa longueur.

3.7.2 GÉNÉRALITÉS SUR LE CHEMINEMENT DES CÂBLES

Tirer les câbles jusqu'à la boîte de jonction ou le panneau de commutation. S'assurer que le câble est protégé des coupures et des frottements, et qu'il ne souffrira ni d'aspérités dans le sol, ni de l'équipement de compactage, ni de déformations

importantes induites par la mise en place du remblai.

Dans les remblais, les câbles peuvent être enfouis dans un matériau fin comme du sable. Une installation typique consiste à disposer une série de câbles entre deux épaisseurs de 10 cm de sable fin dans une tranchée.

Lorsque les câbles sont enfouis dans du béton, ils doivent être protégés de la mise en place de celui-ci et des équipements de vibration en les fixant fermement à la structure.

Le déroulement de câbles en surface nécessite une attention continue et des protections contre la circulation des engins de chantier.

Si nécessaire, tirer les câbles dans des conduits rigides ou souples en prenant garde à l'infiltration d'eau possible. Dans certaines structures et dépendamment des conditions du chantier, du béton placé à la main sur les câbles peut fournir une bonne protection.

Pendant l'installation des câbles, prendre régulièrement des mesures des instruments pour s'assurer qu'ils continuent à bien fonctionner.

S'assurer que les câbles ne s'entrecroisent pas ou coupent le chemin d'autres câbles.

Noter avec soin l'emplacement des câbles sur les plans.

3.7.3 CHEMINEMENT HORIZONTAL DES CÂBLES

Respecter les points importants ci-dessous pour tirer horizontalement des câbles :

- Ne jamais réaliser de tranchée traversant de part en part le noyau d'argile.
- Éviter de traverser des zones de transition où d'importants tassements différentiels pourraient créer des contraintes excessives sur les câbles.
- Éviter les épissures. Si elles sont nécessaires, se référer au paragraphe 3.8 page 19 (Épissures).
- Ne pas disposer les câbles les uns par-dessus les autres.
- Faire serpenter les câbles dans les tranchées. Dans la plupart des terrains, une ondulation d'une amplitude de 40 cm sur 2 m est suffisante. Dans l'argile très humide, augmenter l'amplitude à 1 m. Ceci améliore la capacité du câble à s'étirer sans dommages.
- Dans les zones de transition, faire serpenter le câble dans les plans horizontal et vertical.

Dans les barrages en enrochements avec des noyaux en argile, il est souvent pratique d'installer les câbles dans des tranchées situées dans le noyau ou les filtres ou sur des rampes dans les recharges. Les câbles doivent être espacés d'au moins 2 cm et aucun d'eux ne doit se trouver à moins de 15 cm du bord de la tranchée. Dans le cas où ils sont disposés les uns par-dessus les autres, ils doivent être séparés par une couche de

sable d'une épaisseur minimale de 15 cm.

Pendant le remblaiement des tranchées dans un barrage en terre, un bouchon d'environ 60 cm d'épaisseur, fait d'un mélange en volume de 95% du matériau de remblai et de 5% de bentonite, peut être placé dans les tranchées à intervalles maximum de 7.5 m. De tels bouchons réduisent l'infiltration d'eau vers le noyau par les tranchées.

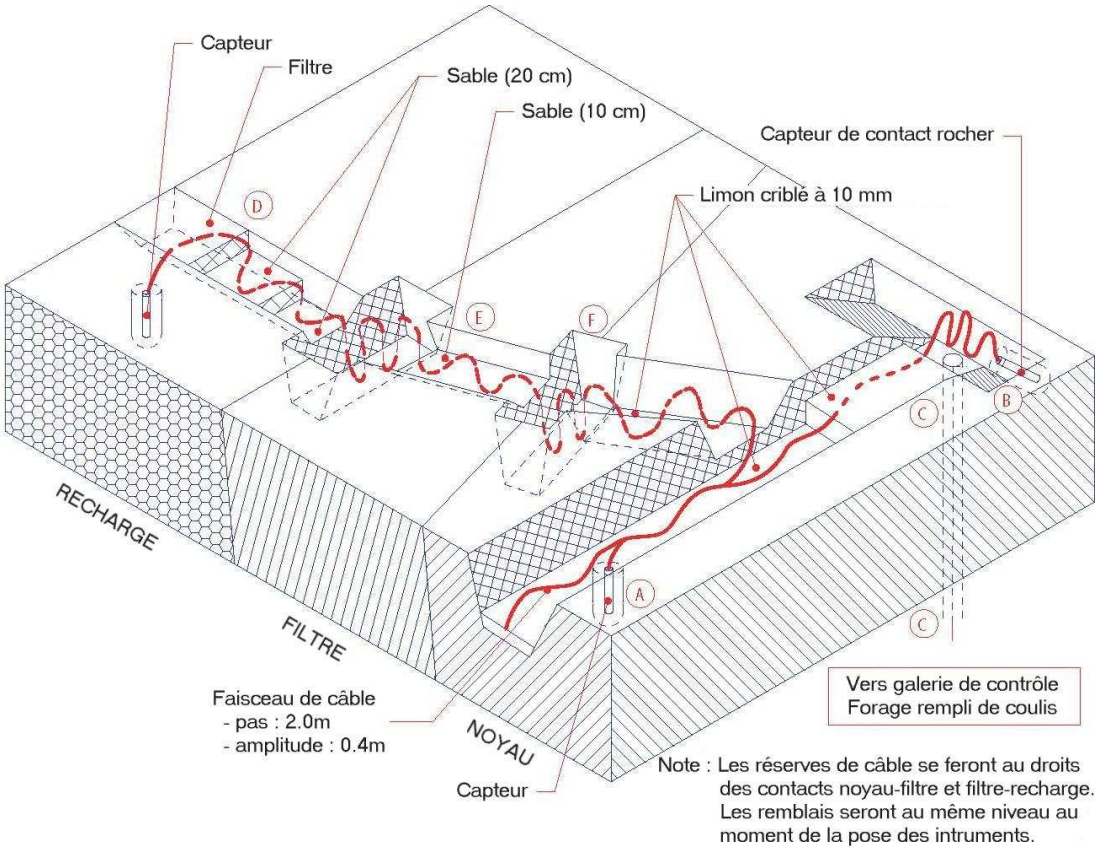
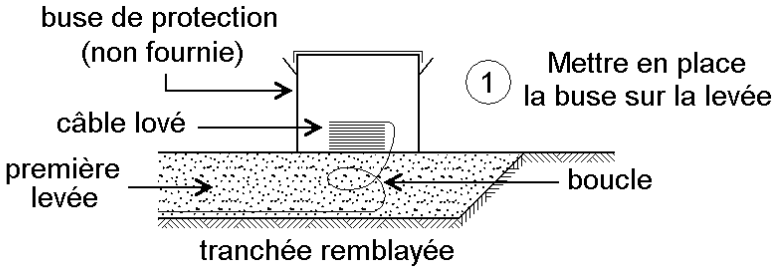


Figure 6: Vue générale du cheminement horizontal des câbles

3.7.4 CHEMINEMENT VERTICAL DES CÂBLES

La procédure ci-dessous est sûre et efficace pour tirer des câbles des instruments au sommet du remblai.



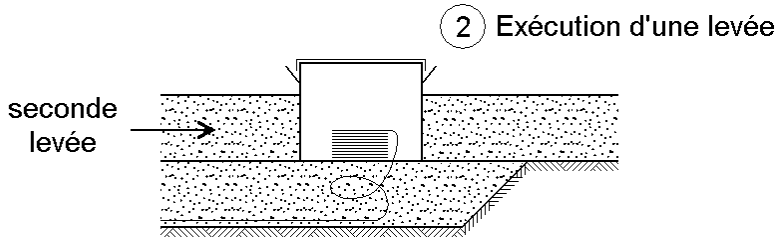


Figure 7: Procédure pour tirer les câbles verticalement

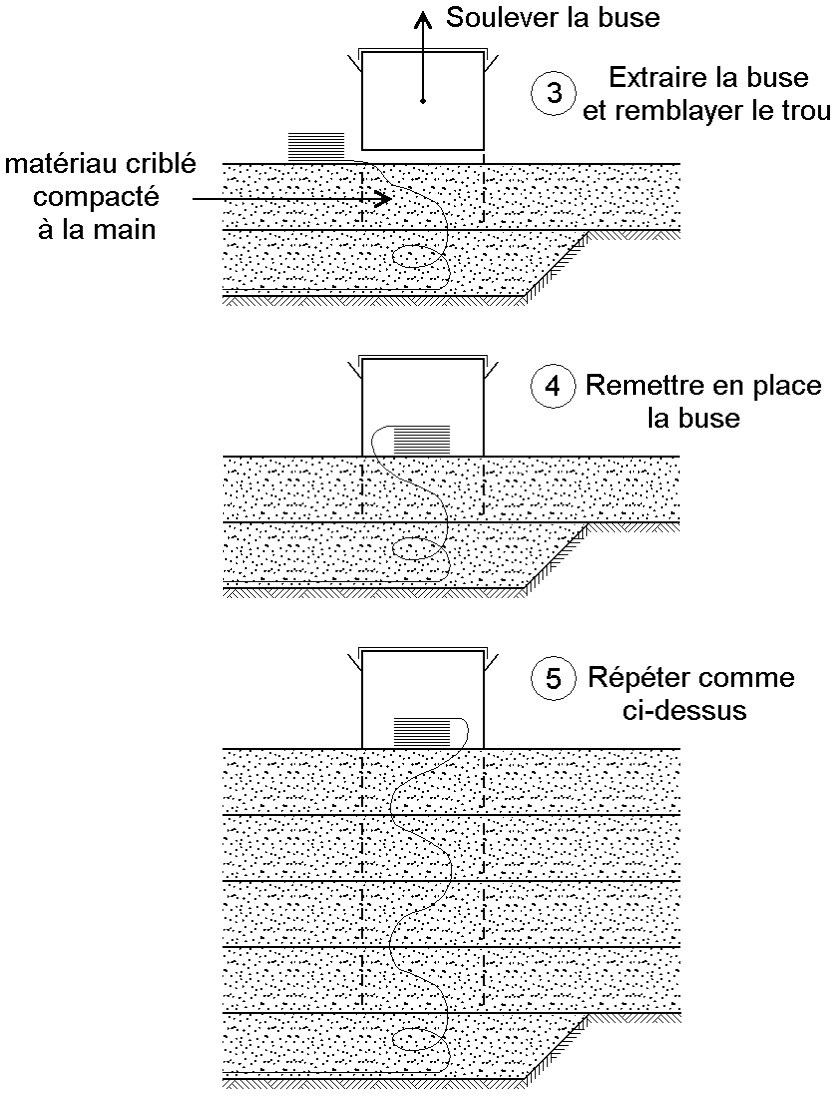


Figure 7: Procédure pour tirer les câbles verticalement (suite)

3.8 ÉPISSURES

Les épissures doivent généralement être évitées. Sinon, n'utiliser que le nécessaire standard ou à haute pression approuvé par le manufacturier. Les instructions de montage sont incluses dans le nécessaire.

Si le câble est coupé, nous recommandons l'utilisation de la version haute pression du nécessaire à épissure, en particulier quand le câble est sous l'eau.

Puisque les capteurs utilisent la technologie de la corde vibrante, le signal utile de sortie est une fréquence et n'est pas altéré par un changement d'impédance dans le câble. C'est pourquoi les épissures n'ont pas d'effet sur la qualité des lectures.

De plus, dans certains cas particuliers sur chantier (grandes distances entre les capteurs, chaîne d'instruments, position éloignée du poste de lecture), les épissures peuvent être utiles pour réduire le nombre de câbles à tirer. En effet, les câbles des capteurs peuvent être connectés à un seul câble multiconducteur grâce à une épissure ou à une boîte de jonction.

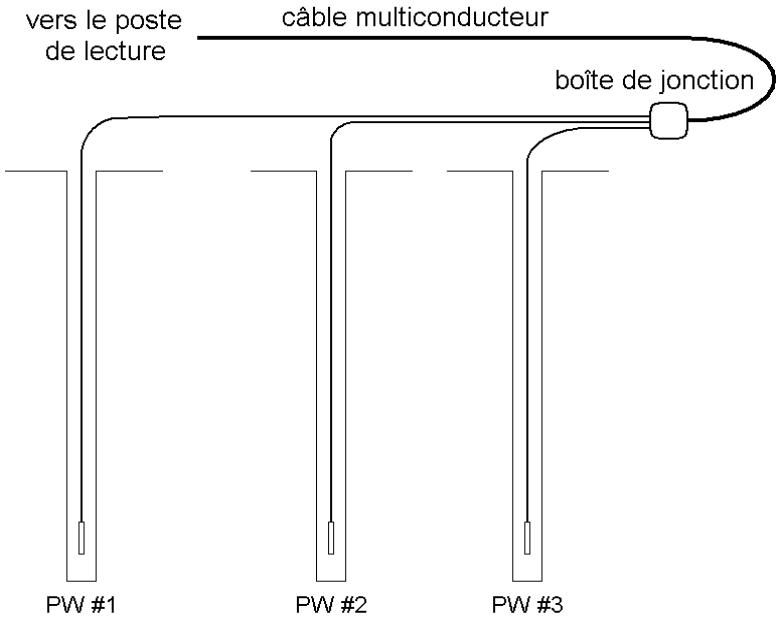


Figure 8: Exemple d'emploi d'une boîte de jonction

Contacter Roctest – Telemac pour obtenir des informations supplémentaires sur les boîtes de jonction et les épissures.

3.9 CONNECTION DES CÂBLES

S'assurer de l'identification des câbles avant de les couper. Si un câble doit être connecté à une boîte de jonction par exemple, le couper de manière à avoir suffisamment de longueur pour obtenir une installation de qualité (fonctionnelle et

esthétique).

Dénuder les conducteurs sur 1 cm environ. Si possible, les étamer avec un fer à souder.

3.10 PROTECTION CONTRE LA FOUDRE

Un câble qui est exposé à la foudre doit être protégé à tout moment durant l'installation.

Une façon efficace de prévenir un foudroiement est de placer sur les faisceaux de câbles une grande cage en métal reliée à la terre et de connecter à la masse tous les conducteurs et les blindages pendant la phase d'installation.

Un protecteur de surtension et parafoudre est inclus dans l'électronique du piézomètre. Il protège les bobines près de la corde vibrante mais pas la thermistance. Il est constitué d'un double éclateur à gaz.

Contacter Roctest – Télémac pour de plus amples informations sur la façon de protéger les instruments, les boîtes de jonction et les systèmes d'acquisition contre la foudre et les variations de tension et de courant.

Toutes les boîtes de jonction et les systèmes d'acquisition fournis par Roctest – Télémac sont disponibles munis d'un dispositif parafoudre.

4 PROCÉDURE DE LECTURE

4.1 GÉNÉRALITÉS

Les lectures peuvent être effectuées de façon manuelle avec un poste de lecture modèle MB-3TL (ou MB-6T(L)) ou automatiquement grâce à un système d'acquisition comme le SENSLOG.

Chaque piézomètre à corde vibrante est fourni avec une thermistance de 3kΩ dont la résistance dépend de sa température. Celle-ci peut donc aussi bien être lue avec un ohmmètre.

Les lectures manuelles de pression et de température d'un piézomètre peuvent être effectuées directement à partir des conducteurs du câble du capteur ou via un panneau de commutation grâce au poste de lecture MB-3TL (ou MB-6T(L)).

Afin de faciliter les lectures d'une série de piézomètres, les fils de chaque instrument peuvent être connectés à un panneau de commutation. Les instructions de câblage figurent dans le manuel de la boîte de jonction ou du panneau de commutation.

4.2 PRISE DE LECTURES

Le poste de lecture MB-3TL (ou MB-6T(L)) est fourni avec un cordon de raccordement muni d'un connecteur mâle et de quatre pinces crocodile. Les gaines des conducteurs sont de couleurs différentes, qui correspondent à celles des conducteurs du câble de

l'instrument.

Connecter les pinces crocodile aux conducteurs de l'instrument suivant le tableau ci-dessous.

	Connections				
Câble	Corde + (rouge)	Corde - (noir)	Temp. + (blanc)	Temp. - / blindage (vert)	
IRC-41A(P)	rouge	noir	blanc	vert	blindage

Tableau 2: Câblage des fils des instruments

Pour obtenir une lecture avec le MB-3TL (ou MB-6T(L)), mettre le sélecteur de jauge (GAUGE TYPE) en position 4 (PWS) et le sélecteur de thermistance (THERMISTOR) en position B (3kΩ).

Mettre en marche le poste de lecture. Il affiche alors successivement :

- la séquence de test du poste,
- les paramètres de la jauge et de la thermistance,
- les lectures de la jauge en unités normales (N) et linéaires (L) ainsi que sa température en degrés Celsius et Fahrenheit.

Noter ces lectures comme elles apparaissent à l'écran.

Physiquement, la lecture normale est la période de vibration en µs de la corde (appelée précédemment N) et la lecture linéaire est proportionnelle à la déformation de la corde (appelée précédemment ε).

Les conducteurs du cordon ne doivent jamais être court-circuités quand il est connecté au poste de lecture.

4.3 VÉRIFICATION RAPIDE DES LECTURES

Sur chantier, avant même de convertir les lectures brutes en mesures exploitables, plusieurs vérifications peuvent être faites pour détecter des mauvaises lectures.

- Comparer les lectures avec les précédentes. Sont-elles du même ordre ? Changent-elles doucement ou brutalement ? Considérer les facteurs extérieurs pouvant affecter les lectures comme les activités de construction, les excavations ou l'élévation de remblais…

- Dans tous les cas, nous recommandons de prendre plusieurs lectures pour confirmer les mesures. Ainsi, la répétabilité des mesures peut-elle être appréciée et les mauvaises lectures écartées.

5 CONVERSION DES LECTURES

Les piézomètres à faible étendue de mesure comme les modèles PWL sont très sensibles et une correction barométrique doit être effectuée. Si, en outre, des variations de température se produisent, une autre correction est nécessaire.

5.1 VALEUR DE PRESSION

Utiliser la relation suivante pour calculer la valeur de pression à partir de lectures en unités linéaires affichées par le MB-3TL (ou MB-6T(L)) :

Équation linéaire : $$P = C_f \left(L - L_0\right)$$

où P = pression en kilopascal
C_f = facteur d'étalonnage (voir feuille d'étalonnage)
L = lecture en unités linéaires (UL)
L_0 = lecture initiale en unités linéaires (UL)

Équation polynomiale : $$P = A \cdot L^2 + B \cdot L + C'$$

où P = pression en kilopascal
L = lecture en unités linéaires (UL)
A, B = facteurs d'étalonnage (voir feuille d'étalonnage)
C' = constante calculée en kilopascal

Exemples :

La feuille d'étalonnage donne les coefficients suivants :

C_f = -3.8444E-01 kPa/UL
A = -4.0179E-06 kPa/UL^2
B = -3.6641E-01 kPa/UL

- Utilisation de la relation linéaire :

  Quand le filtre a été mis en place, la lecture initiale a été prise :

  L_0 = 2 895 UL

  La lecture actuelle est :

  L = 2 455 UL

  Nous obtenons :

  $$P = -3.8444 \cdot 10^{-1} \times \left(2455 - 2895\right) = 169.2 \text{ kPa}$$

- Utilisation de la relation polynomiale :

  Quand le filtre a été mis en place, la lecture initiale a été prise :

  L_0 = 2 895 UL

  Le coefficient C' doit être calculé : (voir chapitre 3.3 page 8 (Lecture initiale))

  $$C' = -AL_0^2 - BL_0 = -\left(-4.0179 \cdot 10^{-6}\right) \times 2895^2 - \left(-3.6641 \cdot 10^{-1}\right) \times 2895 = 1\ 094.4 \text{ kPa}$$

  La lecture actuelle est :

  L = 2 455 UL

  Nous obtenons :

  $$P = -4.0179 \cdot 10^{-6} \times 2455^2 + \left(-3.6641 \cdot 10^{-1}\right) \times 2455 + 1094.4 = 170.6 \text{ kPa}$$

Note : Des lectures décroissantes en unités linéaires indiquent un accroissement de la pression.

Si la lecture est en fréquence, la convertir en unités linéaires par la relation suivante :

$$L = K \frac{F^2}{1000}$$

où L = lecture en unités linéaires

K = constante de jauge pour les piézomètres = 1.0156

F = fréquence en Hz

Exemple :

Avec F = 1 625 Hz,

Nous obtenons : $L = 1.0156 \times \frac{1625^2}{1000} =$ 2 681.8 UL

5.2 VALEUR DE TEMPERATURE

Bien que le poste de lecture MB-3TL (ou MB-6T(L)) donne directement la température en ℃ et en ℉ (avec le sélecteur en position B), e lle peut aussi être obtenue grâce à un ohmmètre.

Pour convertir la valeur de la résistance en une lecture de température, se référer au manuel d'instruction de la jauge TH-T disponible sur notre site internet.

5.3 CORRECTIONS DE TEMPÉRATURE ET DE PRESSION BAROMÉTRIQUE

Les matériaux utilisés dans la fabrication des capteurs à corde vibrante sont choisis spécialement pour minimiser les effets des variations de température sur les mesures. Le coefficient de dilatation thermique du corps du capteur est très proche de celui de la corde. Ainsi, les effets des variations de température sont naturellement compensés.

Cependant, un faible coefficient de température persiste. Si le plus de précision possible est souhaité ou si de grandes variations de température sont possibles, une correction peut être appliquée.

Dans tous les cas, et spécialement pour les capteurs à faible étendue de mesure, une correction barométrique doit être appliquée.

Utiliser la relation suivante pour appliquer les corrections :

$$P_c = P - C_T(T - T_0) - (S - S_0)$$

où P_c = pression corrigée en kilopascal

P = pression calculée précédemment en kilopascal

C_T = facteur thermique (voir la feuille d'étalonnage), en kPa/°C

T = température en degrés Celsius

T_0 = température initiale en degrés Celsius

S = pression barométrique en kilopascal

S_0 = pression barométrique initiale en kilopascal

Exemple:

Lecture initiale : T_0 = 26.1 °C

S_0 = 105.64 kPa

Lecture courante : T = 18.5 °C

S = 99.57 kPa

Avec : P = 169.2 kPa

C_T = -1.0679E-01 kPa/°C,

Nous avons : $P_c = 169.2 - (-1.0679 \cdot 10^{-1}) \times (18.5 - 26.1) - (99.57 - 105.64) = 174.5$ kPa

Faire attention à travailler tout le temps avec les mêmes unités pour bien appliquer les corrections.

6 DÉTECTION DE PANNES

La maintenance des capteurs à corde vibrante est nécessaire. Vérifier régulièrement

l'état des câbles et les connections des fils. Les capteurs eux-mêmes sont scellés et ne peuvent être ouverts pour inspection.

6.1 LECTURE INSTABLE

- Vérifier si les mêmes symptômes apparaissent avec d'autres capteurs. Si c'est le cas, comparer les trajets des câbles ou vérifier le poste de lecture.

- Le blindage du câble du capteur est-il bien connecté au poste de lecture ?

- Isoler le poste de lecture du sol en le plaçant sur une planche de bois ou un matériau non conducteur similaire.

- Vérifier la charge des batteries du poste de lecture.

- Rechercher les sources de bruit électrique comme les moteurs, les générateurs, les câbles électriques ou les antennes. Si elles sont proches des câbles, les blinder ou les changer de place.

- Si un système d'acquisition automatique est utilisé pour prendre des lectures, est-ce que les paramètres du balayage en fréquence sont bien configurés ? Utiliser la feuille d'étalonnage et la relation de conversion à la fin du paragraphe 5.1 pour vérifier que la plage de fréquences couvre bien celle du capteur.

- Le capteur peut être hors gamme. Se référer aux mesures antérieures.

- Mesurer la résistance entre le corps du capteur et le blindage de son câble. Celle-ci devrait être infinie.

- Vérifier l'intégrité du câble.

- Le capteur a peut-être été endommagé par des chocs.

6.2 AUCUNE LECTURE

- Vérifier la charge des batteries du poste de lecture.

- Vérifier si les mêmes symptômes apparaissent avec d'autres capteurs. Si c'est le cas, le poste de lecture est peut-être défectueux. Contacter Roctest – Télémac.

- Si un système d'acquisition automatique est utilisé pour prendre des lectures, est-ce que les paramètres du balayage en fréquence sont bien configurés ? Utiliser la feuille d'étalonnage et la relation de conversion à la fin du paragraphe 5.1 pour vérifier que la plage de fréquences couvre bien celle du capteur.

- Le capteur peut être hors gamme. Se référer aux mesures antérieures.

- Vérifier la résistance du câble. La résistance normale des bobines est de 190Ω ± 10Ω, à laquelle il faut ajouter deux fois la résistance du câble (0.07Ω/m environ pour un câble en cuivre de calibre 22).

- Si la résistance est très élevée ou infinie, le câble est probablement coupé.
- Si la résistance est proche de zéro, les conducteurs sont court-circuités.
- Si la résistance est proche de la normale, le capteur est peut-être endommagé. Contacter Roctest – Télémac.

- Si des coupures ou des court-circuits sont localisés, des épissures peuvent être pratiquées selon les procédures recommandées par Roctest – Télémac.

- Le capteur a peut-être été endommagé par des chocs ou de l'eau s'y est infiltré. Il n'existe pas de moyen pour corriger ce problème.

6.3 PROBLÈME LIÉ À LA TEMPÉRATURE

Des problèmes liés à la lecture de la température sont probablement dus à une coupure ou à un court-circuit dans le câble car la technologie utilisée est très simple (thermistance). Vérifier le câble et pratiquer une épissure selon les procédures recommandées par Roctest – Télémac.

Si, par ailleurs, aucune lecture de pression n'est obtenue, de l'eau s'est peut-être infiltrée dans le corps du capteur. Il n'existe pas de moyen pour corriger ce problème.

6.4 AUTRES PROBLÈMES

Si les variations de pression sont inhabituelles, rechercher si elles sont corrélées à celles de la température ou de la pression barométrique. Vérifier ensuite si les corrections sont bien appliquées.

7 DIVERS

7.1 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Puisque l'objectif de l'installation d'un piézomètre est de surveiller l'évolution des conditions sur le chantier, les facteurs pouvant modifier ces conditions doivent toujours être observés et notés. Même de petits événements peuvent avoir une grande influence sur le comportement d'une structure et peuvent donner des indications précoces sur des problèmes éventuels. Ces événements peuvent être des explosions, des averses, le niveau des marées, le phasage des travaux d'excavation ou de remblai, le trafic routier, les variations de température et de pression atmosphérique, les changements de personnel, les activités de construction aux alentours du chantier, les saisons, etc. Il s'agit là d'une liste non exhaustive.

7.2 FACTEURS DE CONVERSION

	Pour convertir de	À	Multiplier par
LONGUEUR	Microns	Pouces	3.94E-05
	Millimètres	Pouces	0.0394
	Mètres	Pieds	3.2808
AIRE	Millimètres carrés	Pouces carrés	0.0016
	Mètres carrés	Pieds carrés	10.7643
VOLUME	Centimètres cubes	Pouces cubes	0.06101
	Mètres cubes	Pieds cubes	35.3357
	Litres	Gallon E.U.	0.26420
	Litres	Gallon Can GB	0.21997
MASSE	Kilogrammes	Livres	2.20459
	Kilogrammes	Short tons	0.00110
	Kilogrammes	Long tons	0.00098
FORCE	Newtons	Livres-force	0.22482
	Newtons	Kilogrammes-force	0.10197
	Newtons	Kips	0.00023
PRESSION ET CONTRAINTE	Kilopascals	Psi	0.14503
	Bars	Psi	14.4928
	Pouces d'eau*	Psi	0.03606
	Pouces de Hg	Psi	0.49116
	Pascal	Newton / mètre carré	1
	Kilopascals	Atmosphères	0.00987
	Kilopascals	Bars	0.01
	Kilopascals	Mètres d'eau*	0.10197
TEMPÉRATURE	Temp. en °F = (1.8 x Temp. en °C) + 32 Temp. en °C = (Temp. en °F – 32) / 1.8		

* à 4 °C

E6TabConv-990505

Tableau 3: Facteurs de conversion

ANNEXE 1

EXEMPLE DE FEUILLE D'ÉTALONNAGE

ROCTEST TELEMAC

FEUILLE D'ÉTALONNAGE
PIÉZOMÈTRE À CORDE VIBRANTE

Modèle :	**PWF**
Numéro de série :	**100C0529**
Gamme :	**500 kPa**
Température :	**23.9 °C**
Pression barométrique :	**102.5 kPa**
Modèle du câble :	**IRC-390**
Longueur du câble :	**85 m**
Type de thermistance :	**3 kOhms**

Code de couleur : **rouge & noir (excitation) vert & blanc (thermistance)**

Pression appliquée kPa	Lecture unité linéaire UL	Erreur linéaire % P.E.	Erreur polynomiale % P.E.
0.00	2894.2	-0.19	-0.01
100.00	2637.0	0.03	0.00
200.01	2378.1	0.13	-0.02
300.02	2119.1	0.21	0.06
400.00	1856.0	-0.02	-0.05
500.00	1593.8	-0.18	0.00
499.99	1594.0	-0.17	0.01
400.03	1856.8	0.05	0.01
299.99	2118.0	0.12	-0.03
200.03	2378.2	0.14	0.00
99.96	2637.4	0.05	0.02
0.03	2894.4	-0.17	0.01
Erreur maximum (%) :		0.21	0.06

Calcul de la pression :

$P_c = P - P_T - (S-S_0)$

P, P_c = Pressions brute et corrigée
P_T = Correction de température
S_0, S = Pressions barométriques à l'installation et actuelle

Régression linéaire	Régression polynomiale
$P = C_f (L - L_0)$ $P_T = C_T (T - T_0)$	$P = AL^2 + BL + C'$ (*) $P_T = C_T (T - T_0)$
C_f = -3.8444E-01 kPa / UL	A = -4.0179E-06 kPa / UL²
C_T = -1.0679E-01 kPa / °C	B = -3.6641E-01 kPa / UL
	C_T = -1.0679E-01 kPa / °C
L_0 : *Lecture initiale en UL*	(*) Calcul de C' : consulter le manuel d'instructions, § Lecture initiale
L : Lecture en UL ; T_0, T : Températures en °C (initiale, actuelle)	

Note : UL = Unité Linéaire avec K = 1.0156, position 4 sur le poste MB-6T

N° de certificat : 041405B.xls N° de traçabilité : TR-03-03

Étalonné par : Melina Morales Date : 2005/04/14

Tél: (1) 450-465-1113 · 1-877-ROCTEST (USA, Canada) · 33 (1) 64.06.40.80 (Europe) · www.roctest.com · www.telemac.fr